

# ELECTROMAGNETIC ACCELERATION DEVICE WITH MORE STAGES

**Martin Kovařík**

Master Degree Programme (5), FEEC BUT

E-mail: xkova65@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Jan Martiš

E-mail: xmart54@stud.feec.vutbr.cz

**Abstract:** This paper describes the design and realization of multistage electromagnetic accelerating device (gun) and possibilities to increase its effectivity. Including a simulation of a magnetic circuit and designs of each components. Whole desing is focused on proper countermeasures against the damage of switching transistors.

**Keywords:** IGBT, multistage, coilgun

## 1 ÚVOD

U cívkového děla, též označováno jako „coilgun“, je princip urychlování projektilu založen na vta-hování feromagnetického projektilu do cívky protékané proudem. V dnešní době existuje mnoho zařízení využívající tento princip. Asi nejpoužívanějšími zařízeními jsou elektromagnetické aktuá-tory, které nacházejí uplatnění pro vypínače stejnosměrných proudů, elektromagnetické ventily a zkratové spouště jističů. Zvýšení maximální energie, kterou jsme schopni předat projektilu, můžeme dosáhnout zvětšením magnetické indukce. Tohoto můžeme dosáhnout zvětšením budicího proudu nebo zvýšením indukčnosti budicích cívek. Tuto metodu jsem podrobněji zkoumal ve své bakalářské práci [2], kde jsem si tento předpoklad ověřil. Problémem tohoto zvyšování energie pro-jektilu je špatná účinnost převodu elektrické energie na kinetickou. Pro jednostupňové konstrukce se celková účinnost pohybuje pouze v jednotkách procent.

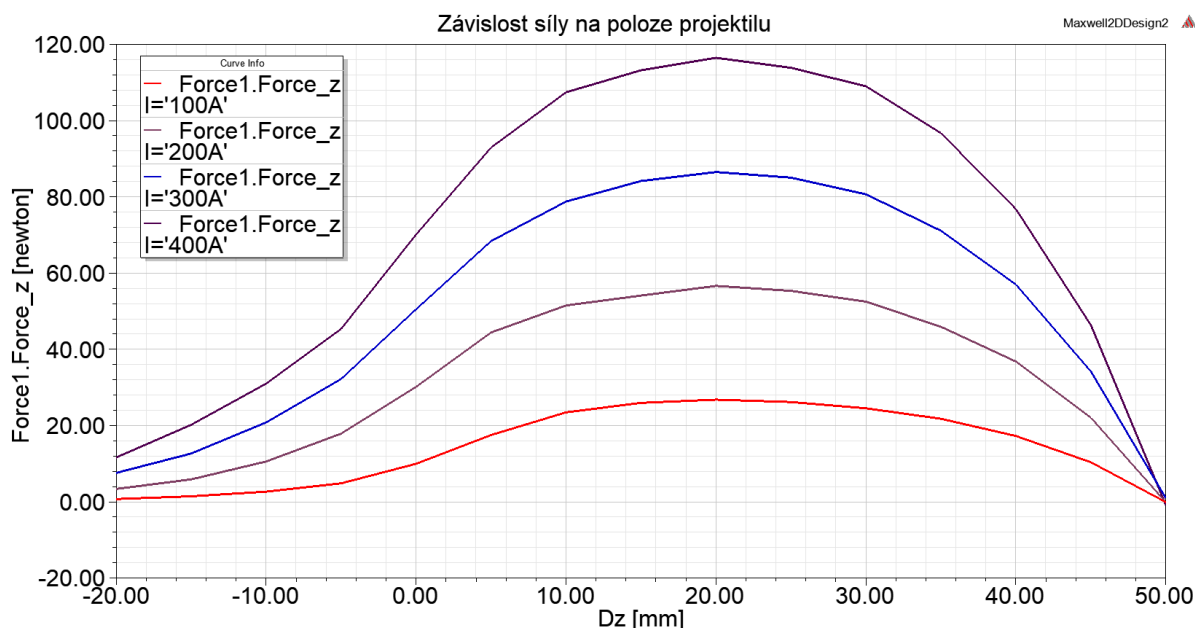
Účinnost tohoto převodu ovlivňují:

- Vysoké vodivé ztráty (odpor cívky, vodičů, ztráty na tranzistoru)
- Vířivé proudy v projektilu (způsobují ztráty zahříváním vodivého projektilu a vytváří magne-tické pole, které vyvolává sílu v opačném směru urychlování)
- Ztráty v magnetickém obvodu (velký rozptylový tok)
- Nemožnost okamžitě vypínat proud cívkou, pokud je špatné časování a proud se vypíná pozdě, dochází k výraznému brždění projektilu a tím ke snižování účinnosti

Další možností jak zvýšit energii udanou projektilu, je prodloužení dráhy, po které je urychlován. Jako nevhodnější řešení se jeví použití více urychlovacích stupňů. V závislosti na počtu urychlova-cích stupňů dojde k prodloužení dráhy, po kterou bude projektil urychlován. Toto řešení bude mít také mnohem vyšší účinnost převodu elektrické energie na kinetickou. Přidané urychlovací stupně nebudou urychlovat projektil z nulové rychlosti, což bude mít za následek menší změnu rychlosti a z toho vyplývající menší proudové pulzy.

## 2 NÁVRH A REALIZACE VÍCESTUPŇOVÉHO URYCHLOVACÍHO ZAŘÍZENÍ

Vzhledem ke komplexnosti elektromagnetického systému byl pro vyšetření magnetického obvodu zvolen numerický způsob pomocí simulace. Pro vyšetření obvodu bude použit program ANSYS Maxwell využívající metodu konečných prvků.



**Obrázek 1:** Síla působící na projektil v různých polohách

Na obrázku 1 je vidět rozložení síly působící na projektil v závislosti na poloze projektilu. Pro lepší představu jsou vyobrazeny čtyři závislosti pro různé proudy protékající budicí cívkou. Z tohoto průběhu je zřejmé, že pokud je do cívky vtažena polovina projektilu, působí na něho největší síla. Čím dále je projektil vzdálen od tohoto bodu, působící síla výrazně klesá až k nulové hodnotě, kdy se projektil nachází uprostřed cívky. Pokud by posunování pokračovalo, průběh síly by byl stejný, jenom by bylo obrácené znaménko (síla by působila opačným směrem). Na základě výsledků této simulace se pak volila pozice umístění optických bran, pro detekci projektilu.

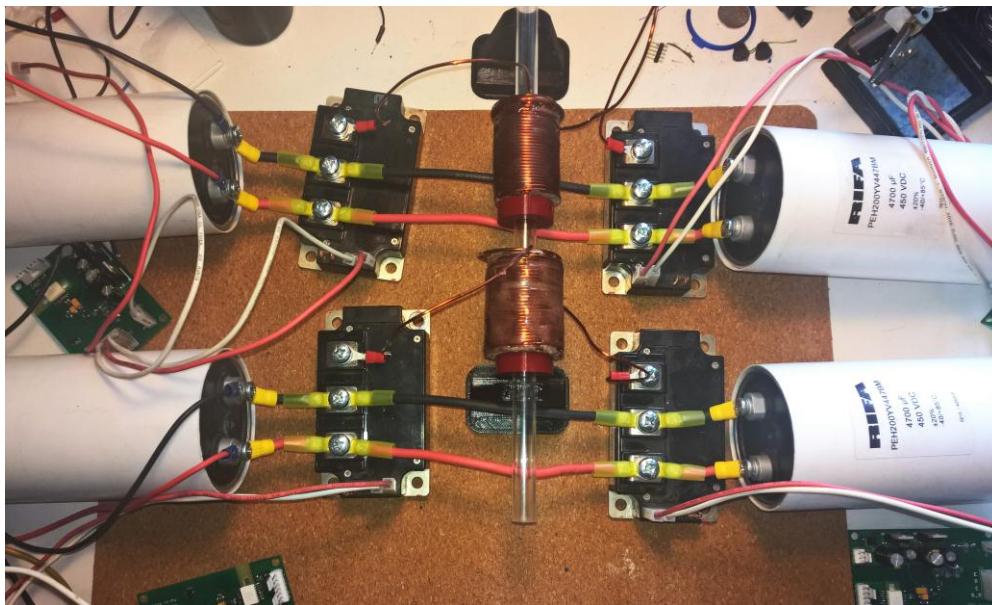
### 2.1 POPIS ŘÍZENÍ VÍCESTUPŇOVÉHO URYCHLOVACÍHO ZAŘÍZENÍ

Délka projektilu je stejná jako délka cívky, což výrazně zjednodušuje řídicí algoritmus. Pro funkci vystřelovacího zařízení nám tedy stačí vždy jedna optická brána umístěná ve vzdálenosti do 10 mm před urychlovací cívkou. Je totiž vhodné spínat proud do cívky dříve, aby stihl vystoupat na požadovanou hodnotu, než bude projektil v místě, kde na něho působí největší síla. Toto posunutí také zajistí dřívější vypnutí, aby proud stihl klesnout na nulovou hodnotu před tím, než se projektil dostane do středu cívky. S každým dalším urychlovacím stupněm musí mít cívka menší indukčnost, čímž docílíme větší strmosti proudu a dosáhneme nejlepší odezvy na řízení.

První urychlovací cívka se může sepnout až po vložení projektilu a stisknutí tlačítka pro výstřel. Sepnutí druhé cívky je závislé jen na signálu z optické brány. Jakmile je optická brána aktivována projektillem řídicí procesor sepne výkonový obvod. Po celou dobu sepnutí je monitorován proud protékající budicí cívkou. V případě překročení nastaveného proudu se aktivuje PWM regulace proudu. Pro případ selhání je obvod vybaven hardwarovou proudovou ochranou, která vypne budiče IGBT tranzistorů bez ohledu na procesor. Nastavená hodnota hardwarové proudové ochrany je mírně vyšší než maximální hodnota proudu nastavená v procesoru. Samotné budiče mají navíc integrovanou saturační ochranu.

## 2.2 POPIS KOMPONENT

První důležitou komponentou jsou budiče IGBT tranzistorů. Pro každý urychlovací stupeň jsou použity dva budiče [3], z nichž jeden řídí horní a druhý řídí dolní tranzistor. Řídicí signál z procesoru je galvanicky oddělen přes optočleny. Budiče předávají procesoru informace o svém stavu, například v případě vybavení některé z ochran. Dále je do procesoru přiváděna informace o protékajícím proudu jednotlivými cívkami. Snímání proudu je řešeno pomocí LEM čidla HAS 200-S [1]. Procesor obsluhuje nabíjení kondenzátorové baterie pomocí ovládacích relé. Dále je zde jedna optická brána vyhrazená pro snímání konečné rychlosti projektilu. Tato veličina bude sloužit k výpočtu účinnosti výstřelu. Procesor bude pomocí LCD displeje zobrazovat rychlosti a účinnosti jednotlivých urychlovacích stupňů.



Obrázek 2: Sestavené zařízení

## 3 ZÁVĚR

Tato práce se zabývala návrhem elektromagnetického vystřelovacího zařízení s více stupni. Byly analyzovány možnosti zvyšování celkové účinnosti elektromagnetického vystřelovacího zařízení na bázi cívkového děla. Následně byl vytvořen simulační model pro program ANSYS Maxwell. Řídicí obvody byly navrženy tak, aby byla výstupní účinnost celého obvodu co nejvyšší. Pro správnou funkci byly také navrženy budiče IGBT tranzistorů, které obsahují některé ochranné funkce, jako kontrolu přítomnosti napájecího napětí a saturační ochranu. Pro budiče již byla navržena deska plošných spojů, která je již vyrobena a osazena součástkami. V současné době je sestaveno zařízení se dvěma urychlovacími cívkami. Dalším cílem bude návrh DPS řídicích obvodů a nabíjení.

## REFERENCE

- [1] PATOČKA, Miroslav. Magnetické jevy a obvody ve výkonové elektronice, měřicí technice a silnoproudé elektrotechnice. V Brně: VUT IUM, 2011. ISBN 80-214-4003-1.
- [2] KOVAŘÍK, Martin. Elektromagnetické dělo [online]. Brno, 2015 [cit. 2018-03-14]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=106073](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=106073). Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [3] Budiče výkonových tranzistorů MOSFET a IGBT [online]. Brno [cit. 2018-03-14]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/04030/index.html>